PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 42. 21. Juli 1900. 1. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen:
B. E. Moore, Die Polarisation und der innere Widerstand des Kupfervoltameters. S. 449.
E. Villari, Wie elektrische Ladungen die Eigenschaft ionisierter Gase, Elektrizität zu zerstreuen, aufheben. S. 450.
Edm. van Aubel, Über die spezifischen Wärmen von Legierungen. S. 452.
Vorträge und Reden:
W. König, Goethes optische Studien. S. 454.
Besprechungen:
A. V. Bäcklund, Elektrodynamik. S. 463.
Personalien. S. 464.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Die Polarisation und der innere Widerstand des Kupfervoltameters. [1])

Von B. E. Moore.

Misst man den inneren Widerstand elektrolytischer Zellen auf direkte Weise oder mit Hilfe von Wechselströmen, so wird man zu sehr verschiedenen Resultaten geführt. Der durch den „direkten Strom" gemessene Widerstand ändert sich sehr mit der Stromstärke, und erreicht schliesslich einen angenäherten, aber niemals den gleichen Wert, wie ihm die Wechselstrommethode ergiebt. Diese Methode des „direkten Stromes" besteht darin, dass man zunächst die bei Beginn der Messung an die Elektroden angelegte Potentialdifferenz misst, und hierauf, nach Durchschicken des Stromes die elektromotorische Kraft der Polarisation. Die Differenz dieser beiden Spannungen, dividiert durch die Stromintensität, giebt den Wert des scheinbaren Widerstandes. Es ist bekannt, dass diese sekundäre elektromotorische Kraft bei geöffnetem Stromkreise sehr rasch verschwindet, und dass also, wenn nicht besondere Vorsichtsmassregeln getroffen waren, der beobachtete Wert zu klein ist und so andererseits wieder einen zu grossen inneren Widerstand liefern würde. Diese Thatsache wurde schon von vielen Autoren erkannt, die alle die Notwendigkeit betonten, die Messung der Polarisations E. M. K. so rasch als möglich nach dem Durchgang des polarisierenden Stromes auszuführen. Auch in dieser Arbeit ist nach diesem Gesichtspunkte verfahren worden, und zwar betrug die kürzeste Zeit, nach der nach dem Durchgange des Polarisationsstromes die E. M. K. der Polarisation gemessen wurde, 0,00006 Sekunden, die längste 0,045 Sekunden. Zwischen diesen Grenzen angestellte Beobachtungen zeigen die Abnahme der Polarisation mit der Zeit. Die Beobachtungen beschränkten sich auf das Kupfervoltameter. Es wurden Platten verschiedener Grösse unter verschiedenen Bedingungen benutzt. Die Lösung hatte eine Dichte von 1,1395. Die Messung der Potentiale geschah mit Hilfe eines Kondensators, der sich durch ein empfindliches ballistisches Galvanometer entlud. Die Stromstärke wurde durch den Spannungsabfall in einem bekannten Widerstande gemessen, der hinter das Voltameter geschaltet war. Das Öffnen und Schliessen der Ströme geschah durch ein Fallpendel. Der kleinste Zeitraum der noch gemessen werden konnte, war 0,00002 Sekunden. Obwohl der kleinste benutzte Zeitraum nur dreimal grösser war, so gab er bei der Messung der Polarisations-E. M. K. doch schon zu Fehlern Anlass. Jedoch sind die Resultate genau genug, um die so rasche Änderung dieser E. M. K. zu zeigen und um zu gestatten, Schlüsse daraus zu ziehen. Bei einer Versuchsreihe betrug z. B. die gemessene Polarisations-E. M. K. in Volts: 0,2176; 0,136; 0,0364 und die dazu gehörigen Zeiten 0,00006, 0,00018, 0,001 Sekunden, das heisst fünfsechstel dieser E. M. K. verschwinden, bevor 0,001 Sekunde vergeht. Der Gang der Kurve zeigt, dass diese grosse Abnahme der Polarisation im ersten 0,00006. Teile einer Sekunde vor sich geht. Für schwache Ströme gilt dies noch mehr. Wie gross die Polarisation im Augenblick der Öffnung des polarisierenden Stromes war, liess sich schwer schätzen; und auch beim Extrapolieren der Kurve bis Null läuft man Gefahr, einen grossen Fehler eintreten zu lassen. Man kann jedoch annehmen, dass der Wert, den man für die Polarisations-E. M. K. erhalten würde, wenn sich die Messung im Augenblick der Öffnung ausführen liesse, der Differenz der durch diese direkte Methode erhaltenen Werte des scheinbaren Widerstandes und der nach Kohlrauschs Methode erhaltenen Werte gleichkäme.

Die Geschwindigkeit der Abnahme zeigt auch an, dass das Phänomen auf die Kontaktoberfläche der Elektrode und der Lösung beschränkt ist. Lässt man die Stromstärke ansteigen, so dringt die Polarisation in tiefere Schichten ein, und sie dauert bei geöffnetem

1) Ausführlich in Phys. Review.

Stromkreise länger. Dies lässt sich teilweise auch erreichen, wenn man einen schwachen Strom längere Zeit hineinschickt. Jedoch sind die Wirkungen von kurze Zeit dauernden starken und lange Zeit dauernden schwachen Strömen nicht direkt vergleichbar, sowohl aus Gründen von Diffussionserscheinungen, als auch wegen der Thatsache, dass höhere Potentiale an und für sich in tiefere Schichten eindringen.

Die Elektroden waren gross genug, um einer Erwärmung und einer daraus folgenden Komplikation der Erscheinung vorzubeugen.

Die Versuche zeigen, dass sich der scheinbare innere Widerstand des Kupfervoltameters, nach dieser direkten Methode gemessen, für alle Stromstärken konstant, und den bei der Messung des elektrolytischen Widerstandes nach Kohlrausch erhaltenen Werten gleich ergeben würde, wenn es gelänge, die Messung der Polarisation im Augenblick der Öffnung, also nach 0 Sekunden vorzunehmen. Die beobachteten Unterschiede rühren von Fehlern bei der Messung der Polarisation her, und es ist zu allerletzt nötig, einen speziellen „Übergangswiderstand" anzunehmen.

Universität Nebraska.

(Aus dem Englischen übersetzt von S. Guggenheimer).

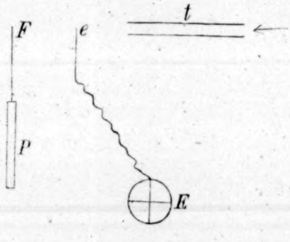
(Eingegangen 18. Juni 1900).

Wie elektrische Ladungen die Eigenschaft ionisierter Gase, Elektrizität zu zerstreuen, aufheben.[1])

Von Emilio Villari.

§ 1. Lässt man einen Strom von Luft oder von einem andern Gase, der von X-Strahlen durchsetzt und aktiv gemacht ist, eine Ozonisationsröhre passieren, die in Thätigkeit ist oder vor Kurzem durch einen Induktor in Thätigkeit gesetzt worden war, so verlieren Luft oder Gas ihre entladende Kraft, und kehren in ihren natürlichen Zustand zurück. Es ist bekannt, dass die Ozonisationsröhre beim Durchgang der elektrischen Ladungen sich auf ihren Oberflächen mit der entgegengesetzten Elektrizität ladet; dadurch wird die von X-Strahlen erregte Luft wieder zu natürlicher. So wird verständlich, dass die neutralisierende Kraft, welche die Ozonisationsröhre bewahrt, nachdem sie in Aktion war, sich verliert, wenn ihre Flächen entladen werden, mag dieses rasch geschehen, indem man eine Gasflamme innen hinein bringt, oder indem man sie von aussen stark erhitzt, — oder langsam, indem man 1—2 Stunden lang von X-Strahlen durchsetzte Luft hinein treibt. Bleibt die Ozonisationsröhre sich selbst überlassen, so bleibt sie 1—2 Tage lang geladen und wirkungsfähig. Natürlich können weder Ozon noch ozonisierte Luft elektrisch gemachte Körper entladen.

Man weiss, dass Gase, durch welche kräftige Funken hindurchgehen, ebenso wie Gase, die sich aus Flammen entwickeln, ob heiss, ob abgekühlt, in hohem Masse die Eigentümlichkeit haben, elektrisch gemachte Körper zu entladen. Aus kürzlich von mir angestellten Untersuchungen geht hervor, dass genannte Gase ihre entladende Eigenschaft völlig verlieren, wenn sie durch eine in Aktion befindliche Ozonisationsröhre gehen; sie entladen sofort die von der elektrischen Ausstrahlung aktiv gemachte Ozonisationsröhre. Man möchte fast sagen, dass die durch X-Strahlen, durch Funken und durch



Flammen ionisierten Gase durch den elektrischen Einfluss der Ozonisationsröhre in ihren Normalzustand zurückkehren. Um die Entladungen, welche in Folge der Ausstrahlungen, in einer Ozonisationsröhre zurückbleiben, zu beobachten, konstruierte ich mir eine solche aus zwei breiten, dünnen, aussen mit Staniol bedeckten, Ebonitblättchen. Nachdem ich die Ozonisationsröhre mit einem Induktor aktiv gemacht und hierauf auseinander genommen hatte, blies ich die elektroskopischen Pulver darauf und erhielt vermöge ihrer zwiefachen Ladung auf jedem Blättchen schöne elektrische, gelbe und rote Figuren.

§ 2. Die von X-Strahlen durchsetzte Luft kann aber ihre ganze entladende Kraft durch die Einwirkung einer einzigen elektrischen Ladung statt durch die von zwei entgegengesetzten Ladungen verlieren. Treibt man von X-Strahlen durchsetzte Luft durch eine Paraffinröhre, die durch eine einzige Ladung im Innern elektrisch gemacht ist, so kommt die Luft im natürlichen Zustand aus ihr heraus. Ich lud die Röhre (—), indem ich sie im Innern mit einem Katzenfell rieb; dann lud ich sie stärker (+) oder (—) mittels einer kleinen Metallschlinge,

---

1) Rend. Lincei, giugno 1897, 243 Roma; und Rend. Acc. di Bologna 28, gennaio 1900.

die innen steckte und an eine Leydener Flasche angeschlossen war, welche ich mit einem kleinen Induktor von 10 mm oder mehr Funkenlänge während einiger Minuten lud.

Die elektrische Ladung der Röhre und ihr Vermögen, die von X-Strahlen durchsetzte Luft zu neutralisieren, nimmt langsam ab und hört schliesslich auf, wenn man einen Strom von Luft darauf bläst, welche von X-Strahlen durchsetzt war, dasselbe geschieht schnell, wenn man eine Gasflamme ins Innere der Röhre bringt.

Ein geladenes Elektroskop in der Nähe eines schwach elektrisierten Drahtes entlud sich langsam bei einander entgegengesetzten Ladungen, ein wenig schneller bei gleichartigen Ladungen, weil entgegengesetzte Ladungen sich anziehen, gleichartige sich abstossen. Der Unterschied in der Dauer wird in beiden Fällen etwas geringer, wenn man einen Strom von gewöhnlicher Luft erst den elektrisch gemachten Draht, dann das Elektroskop passieren lässt; die Ursache davon ist in der kleinen Menge von Elektrizität, die er von dem einen zum andern trägt, zu suchen. Nimmt man anstatt des schwach elektrisierten Drahtes einen, mit einer Leydener Flasche verbundenen, stark geladenen Pinsel aus Metallfäden und lässt man einen Luftstrom — gewöhnliche sowohl wie von X-Strahlen durchsetzte — vom Pinsel zum Elektroskop streichen, so kehrt sich die Erscheinung um; die Entladung des mit derselben Elektrizität wie der Pinsel geladenen Elektroskops geht sehr langsam vor sich (mehrere Minuten), — bei ungleichnamiger Ladung erfolgt die Entladung sehr rasch (in wenigen Sekunden).

Es scheint, dass diese Erscheinungen durch Übertragung von Elektrizität zu stande kommen, welche nur dem gewöhnlichen Luftstrome zuzuschreiben ist, weil, wie schon gesagt, die von X-Strahlen durchsetzte Luft beim Passieren des stark geladenen Pinsels sofort zu gewöhnlicher Luft wird; würde die von X-Strahlen durchsetzte Luft nicht vollständig in gewöhnliche Luft verwandelt, so könnte sie vielleicht durch ihre besondere elektrische Leitungsfähigkeit wirken.

Passiert ein Strom Luft, die von X-Strahlen durchsetzt war, zuerst einen an ein Elektrometer angeschlossenen Draht und dann, 20 oder mehr Centimeter davon entfernt, einen Draht, der von einer trockenen Batterie geladen ist, so wird das Elektrometer plötzlich um 100 Teile der Skala abgelenkt und zwar durch eine Ladung, die mit der des elektrisierten Drahtes gleichnamig ist. In diesem Falle könnte mit dem Strome der von X-Strahlen durchsetzten Luft die Elektrizität nicht dem Elektrometer zugetragen werden, da sich die Elektrizität in einer dem Luftstrome entgegengesetzten Richtung verbreitet hat; jedoch scheint es, dass sie sich durch die Leitungsfähigkeit der von X-Strahlen durchsetzten Luft verbreitet hat. Dieselbe Ablenkung des Elektrometers kommt zustande, wenn der von X-Strahlen durchsetzte Luftstrom gleichzeitig den Draht des Elektrometers und den elektrisch gemachten berührt, weil dank der Leitungsfähigkeit die Ladung von einem zum andern übergeht. Unter solchen Bedingungen bringt der gewöhnliche Luftstrom keine Ablenkung des Elektrometers zustande, da er kein Leiter ist.

Wenn jedoch der von X-Strahlen durchsetzte Luftstrom zuerst den geladenen Draht und nachher den mit dem Elektrometer verbundenen berührt, so wird er beinahe zu gewöhnlicher Luft und die Ablenkung des Elektrometers beschränkt sich nur auf 40 und 60 mm. Diese Ablenkung ist vielleicht von einer geringen Übertragung abhängig, die dem Luftstrom, der grösstenteils zu gewöhnlicher Luft geworden ist, verdankt wird, oder wahrscheinlicher noch einem Reste von elektrischer Leitungsfähigkeit der von X-Strahlen durchsetzten Luft zugeschrieben werden muss, die noch nicht völlig wieder zu gewöhnlicher Luft geworden ist, oder auch beiden Ursachen.

Die elektrische Leitungsfähigkeit der von X-Strahlen durchsetzten Luft muss als eine ganz besondere und spezifische Leitungsfähigkeit elektrischer Natur angesehen werden; denn so vielerlei Proben mit sehr augenfälligen Methoden ich auch anstellte, so glückte es mir doch nicht, in der von X-Strahlen durchsetzten Luft eine irgendwie höhere thermische Leitungsfähigkeit aufzufinden, als in der gewöhnlichen Luft. Auch Dr. Amerio[1]) ist es mittels sorgfältigster Versuche nicht geglückt, eine solche erhöhte Leitfähigkeit nachzuweisen. Vielleicht hängt die elektrische Leitungsfähigkeit von einer Konvektionserscheinung ab, die durch eine Art elektrischen Tanzes der Luftteilchen zustande kommt, welcher von der durch die X-Strahlen hervorgerufenen Ionisierung verstärkt wird; sie könnte aber auch durch ein elektrisches Phänomen anderer Natur hervorgerufen werden.

1) Amerio, Nuovo Cimento, fasc. di nov. 1899.

(Aus dem Italienischen übersetzt von Helene Rhumbler.)

(Eingegangen 1. Juli 1900.)

Über die spezifischen Wärmen von Legierungen.[1])

Von Edm. van Aubel.

Regnault[2]) hat gezeigt, dass man die spezifische Wärme einer Legierung mittelst der spezifischen Wärmen ihrer Bestandteile bestimmen kann, vorausgesetzt, dass man eine vom Schmelzpunkte der Verbindung genügend weit entfernte Temperatur betrachtet. Wenn eine Legierung aus einem Gewichte p_1 eines Metalles mit der spezifischen Wärme c_1, und einem Gewichte p_2 eines Metalls mit der spezifischen Wärme c_2 besteht, so ist die spezifische Wärme c der Legierung

$$c = \frac{p_1 c_1 + p_2 c_2}{p_1 + p_2}.$$

L. Schüz[3]) hat die spezifischen Wärmen einiger schmelzbaren Legierungen, hauptsächlich derjenigen von Rose und von Arcet, zwischen -80^0 und $+20^0$ bestimmt; er hat die Formel von Regnault genau bestätigt gefunden. W. Spring[4]) hat die Legierungen von Blei und Zinn untersucht. Er beobachtete, dass für diese Legierungen im flüssigen Zustande die obengenannte Regel noch anwendbar ist, solange man die spezifischen Wärmen genügend oberhalb des Schmelzpunktes ins Auge fasst. Für die an Blei sehr reichen Legierungen $Pb_5\,Sn$ und $Pb_6\,Sn$ war hingegen die beobachtete spezifische Wärme sehr viel grösser, wie die nach der Formel berechnete.

J. Laborde[5]) mass die mittleren spezifischen Wärmen zwischen 0^0 und 100^0 an Legierungen von Eisen und Antimon, welche von 18,48 bis 81,10% Eisen enthielten. Die für die spezifischen Wärmen erhaltenen Zahlen sind alle grösser, als die nach der Mischungsregel erhaltenen, und die grössten Abweichungen gehen über die Versuchsfehlergrenze weit hinaus. Die grösste Abweichung findet sich bei der Legierung, die 39,20% Eisen enthält, deren spezifische Wärme 0,0779 beträgt, während die Rechnung 0,0754 ergiebt. Die Zusammensetzung dieser Legierung lässt sich durch die Formel $Fe_3\,Sb_4$ darstellen.

U. Behn[6]) hat die mittleren spezifischen Wärmen von 3 Legierungen aus Blei und Zinn und diejenige des Messing zwischen $+100^0$ und $+13^0$, $+18^0$ und -74^0, -79^0 und -186^0 bestimmt. Seine Ergebnisse zeigen, dass die Mischungsregel hinreichend befriedigende Werte zu berechnen gestattet.

1) In dieser Arbeit werden die Untersuchungen, die über die Amalgame veröffentlicht sind, nicht in Betrachtung gezogen.
2) Pogg. Ann. **53**, 88, 1841.
3) Wied. Ann. **46**, 177, 1892.
4) Bull. Acad. Belg. (3), 11, 391—392, 1886.
5) Journ. de Physique (3), **5**, 547, 1896.
6) Ann. der Physik, 1900.

Im Jahre 1875 hat W. Spring in dem Bull. Acad. Belg.[1]) eine Arbeit über die Ausdehnung und die spezifische Wärme der schmelzbaren Legierungen veröffentlicht. Diese Mitteilung, welche nicht gebührend beachtet worden zu sein scheint,[2]) enthält mehrere wichtige Schlussfolgerungen, über die ich hier einige Beobachtungen mitteilen möchte.

Jener Forscher, Professor an der Universität Lüttich, hat die Legierungen von Rose, Arcet, Lipowitz und Wood untersucht. Es ist zweckmässig hier einige der erhaltenen spezifischen Wärmen wiederzugeben.

	Temperatur	spez. Wärme
Legierung von Arcet	29,0	0,0621
	41,5	0,0528
	56,5	0,0650
	101,3	0,0901
Legierung von Lipowitz	28,0	0,0634
	50,0	0,0554
	90,5	0,0625

Wir sehen, dass die spezifische Wärme der Legierung von Arcet sich beträchtlich von $29,0^0$ bis $41,5^0$ vermindert und dass dasselbe für die Legierung von Lipowitz von $28,0^0$ bis $50,0^0$ der Fall ist. Diese Thatsache ist sehr bemerkenswert, denn in all den klassischen Abhandlungen kennt man nur beim Quecksilber eine Verminderung der spezifischen Wärme mit steigender Temperatur.

Indessen nach L. Schüz[3]) wäre die spezifische Wärme des Cadmiums zwischen -78^0 und 20^0 grösser, wie die zwischen 20^0 und 100^0. Auch fanden L. Pebal und H. Jahn,[4]) dass die spezifische Wärme des Antimons

0,0499 zwischen -76^0 und -21^0
0,0486 „ -21^0 und 0^0
0,0495 „ 0^0 und 33^0 ist.

Die neuen Messungen von U. Behn[5]) aber von $+100$ bis -186^0 haben gezeigt, dass die spezifische Wärme sowohl des Antimons wie Cadmiums immer mit sinkender Temperatur kleiner wird.

Die theoretische Tragweite dieser Untersuchung würde eine Kontrolle der von Spring gegebenen Resultate, unter Anwendung einer anderen Methode zur Messung der spezifischen Wärmen, rechtfertigen.

W. Spring[6]) schliesst aus seinen Untersuchungen, dass die Änderungen der spezifischen Wärme den Änderungen des Volumens

1) Bull. Acad. Belg. (2), **39**, 548, 1875.
2) Diese Arbeit ist in der That fast in keiner der Abhandlungen zitiert, in denen die Frage nach der spezifischen Wärme von Legierungen behandelt wird.
3) Wied. Ann. **46**, 184 u. 185, 1892.
4) Wied. Ann. **27**, 584, 1886.
5) Ann. der Physik, **I**, 261, 1900.
6) Bull. Acad. Belg. (2), **39**, 599, 1875.

der Körper durch die Wärme folgen. „Man glaubte," so sagt er, „in der Erhebung der Temperatur die Ursache der Vergrösserung der spezifischen Wärme erblicken zu können, ohne bei dieser Erscheinung genügenden Wert auf die Erscheinung der Ausdehnung zu legen. Indessen, da die spezifische Wärme eines Körpers kleiner werden kann, wenn seine Temperatur zunimmt, falls sein Volumen dabei kleiner wird: wäre es nicht viel richtiger zu sagen, dass die spezifische Wärme in erster Linie eine Funktion des Volumens und erst in zweiter Linie der Temperatur sei, wofern letztere überhaupt einen Einfluss hat?" Die spezifische Wärme des flüssigen Quecksilbers wird nun aber kleiner, wenn die Temperatur steigt, obschon dieser Körper sich gleichzeitig unter diesen Bedingungen ausdehnt.

W. Spring bestimmte nach der Methode des Erkaltens die spezifischen Wärmen der Legierung von Lipowitz bei verschiedenen Temperaturen, und D. Mazzotto[1]) mass dieselbe physikalische Konstante für eine Legierung von Lipowitz ähnlicher Zusammensetzung. Die folgende Tabelle gestattet die Resultate beider zu vergleichen:

Legierung von Lipowitz.

Beobachter	Bestandteile				spezif. Wärme
	Wismuth	Zinn	Blei	Cadmium	
W. Spring	49,98	12,76	26,88	10,38	0,0634 bei 28°,0 0,0554 bei 50°,0 0,0625 bei 90°,5
D. Mazzotto	50,66	14,24	24,97	10,13	0,0354 zwischen 5° u. 50°

Der kleinste von W. Spring gefundene Wert unterscheidet sich noch sehr viel von dem Resultate D. Mazzottos, der einer mittleren Temperatur von 27,5° entspricht. Es schien mir nach den oben erwähnten Schlussfolgerungen von Schüz und Behn interessant, zu prüfen, ob die oben von W. Spring und D. Mazzotto erhaltenen Werte denjenigen nahekommen, welche durch Anwendung der Mischungsregel gefunden werden.

Zu dem Zwecke habe ich als spezifische Wärmen gewählt

1) Beibl. **6**, 858, 1882; Landolt und Börnsteins Tabellen, 2. Auflage, 324, 1894.

für Wismuth 0,0305 zwisch. 20° u. 84° (nach Kopp)[1])
„ Zinn 0,05564 „ ca. 20° „ 100° („ Schüz)[1])
„ Blei 0,03168 „ „ 20° „ 100° („ „)
„ Cadmium 0,0548 „ „ 0° „ 100° („ Bunsen)[1])

Der für die von Mazzotto untersuchte Legierung von Lipowitz berechnete Wert ist 0,03683, welcher sich nicht viel von dem beobachteten unterscheidet. Für die von W. Spring untersuchte Legirung von Lipowitz erhält man dagegen durch die Rechnung 0,03655, während die Messungen als kleinsten Wert 0,0554 ergeben haben.

Was muss man aus dieser Abweichung schliessen, zu der die Resultate der beiden Physiker für eine Legierung führen, deren Zusammensetzung nicht allzu verschieden ist? Muss man sie nicht doch Fehlerquellen zuschreiben, welche der von W. Spring angewendeten Methode der Erkaltung anhaften? In der That dürfte sich diese Methode nur für Flüssigkeiten eignen. Andererseits hatte die von W. Spring untersuchte Legierung von Arcet die folgende Zusammensetzung:

Wismuth	49,247
Zinn	21,210
Blei	27,553.

Wenn man noch die spezifische Wärme dieser Legierung nach der Mischungsregel von Regnault berechnet, indem man für Wismuth, Zinn und Blei die oben angeführten spezifischen Wärmen einsetzt, so findet man 0,0355, einen viel kleineren Wert als alle von W. Spring erhaltenen Werte.

Ich behalte mir vor, auf diese Frage in dem zweiten Teile meiner Arbeit zurückzukommen, in dem ich in gleicher Weise prüfen werde, ob die Mischungsregel für die Legierung von Aluminium und Antimon erfüllt ist, die der Formel *Al Sb* entspricht. Ich habe früher gezeigt, dass der Schmelzpunkt dieser Legierung weit über denjenigen ihrer Bestandteile liegt.[2])

1) Landolt und Börnsteins Tabellen, 2. Auflage, 317, 1894.
2) Journ. de Phys., 1898.

(Aus dem Französischen übersetzt von Hermann Th. Simon.)

(Eingegangen 5. Juli 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Goethes optische Studien. [1])

Von Walter König.

Hochgeehrte Anwesende!

Im Festschmuck prangt unsere ehrwürdige Stadt. Die sonnige Gestalt ihres grössten Sohnes steht in diesen Tagen vor aller Gedanken; seine göttlichen Lieder klingen in aller Herzen, und wie ein Strahl aus seinen wunderbaren Augen fällt die Erinnerung an ihn, beruhigend, beglückend und erhebend, in das nervöse Hasten unserer modernen Welt. Wie könnten wir heute, bei unserer gewohnten samstäglichen Zusammenkunft unsere Blicke, unsere Gedanken anders wohin lenken, als auf ihn? Aber was uns heute drängt, seiner zu gedenken, was uns verpflichtet, uns mit ihm zu beschäftigen, ist doch mehr als die blosse Teilnahme an der allgemeinen Feststimmung, ist etwas anderes als die Herzensmacht seiner Dichtungen, etwas spezielleres als der allgemeine Bann seiner gewaltigen Persönlichkeit. Es ist eine besondere Seite seines Wesens, ein besonderer Teil seines Schaffens, dem wir an dieser Stelle unsere Aufmerksamkeit zuwenden können und müssen.

Denn wenn uns in diesen Tagen aus den verschiedenartigsten Mittelpunkten geistiger und praktischer Thätigkeit das freudige Bekenntnis: „Er war unser“ entgegentönt, als das eindringlichste Zeugnis der Universalität seines Schaffens und Gestaltens, seines Sinnens und Dichtens, so dürfen wir uns nach Goethes eigener Meinung wohl eines besonderen Rechtes auf diesen Ausspruch rühmen. Denn, wenn wir dem rückschauenden Urteile seines Alters trauen dürfen, [2]) so hat von allem, was er geschaffen, ihm nichts so am Herzen gelegen, wie seine Farbenstudien; auf keinem Gebiete seiner Thätigkeit hat er so sehr den Ehrgeiz, anerkannt zu werden, besessen, und bei keinem seiner Werke ist er so sehr von dem Werte seiner Leistungen durchdrungen gewesen. Wenn wir daher diese Stunde, in der der Dichter Goethe von der Bühne seiner Vaterstadt herab durch sein tiefgründigstes Seelendrama die Herzen der Nachwelt bewegt — wenn wir diese Stunde in unserem Kreise einer ruhigen und rein sachlichen Betrachtung seiner physikalischen Arbeiten widmen wollen, so können wir doch auch diesem Beginnen mit vollem Rechte das Motto voranstellen:

„Introite, nam et hic Goethe est.“

Aber der Eintritt in unser Auditorium hat Sie, verehrte Mitglieder unseres Vereins, und vor allem die werten Gäste, die wir zu begrüssen die Ehre haben, am heutigen Abende vielleicht enttäuscht. Sie werden eine festlichere Ausschmückung des Saales erwartet haben, eine stärkere Betonung des Stimmungsvollen, das den Resonanzboden für die aus der Vergangenheit herüber tönende Harmonie abgäbe, und statt dessen finden Sie den Saal, abgesehen von jener Büste des Gefeierten, alltäglich wie immer, und den Tisch mit Apparaten bestellt, wie jeden Samstag. Unser düsteres Auditorium ist als Festraum wenig geeignet. Vor allem aber habe ich geglaubt, dass wir in unserem Falle Goethe gegenüber am richtigsten verfahren, wenn wir nicht bloss über seine Schriften reden, sondern ihn, den emsigen Forscher, den unermüdlichen Experimentator bei seiner Arbeit selber aufsuchen. Ich kann ja über seine Farbenlehre zu Ihnen nicht sprechen, wie ein anderer über Faust oder Wilhelm Meister zu Ihnen sprechen könnte. Wer kennte Faust und Wilhelm Meister nicht! Und wer kennte die Farbenlehre! Es sind doch nur ganz wenige, die sie gelesen haben. Was der gebildete Mensch davon weiss, das weiss er aus den Büchern über Goethe, aus dem Lewes oder anderen Biographien, und was in diesen Büchern Günstiges oder Ungünstiges über Goethes physikalische Bestrebungen gesagt sein mag, in den Köpfen der Mehrzahl dürfte als Fazit solcher Betrachtungen in der Regel nur das Ungünstige hängen geblieben sein, die Ablehnung, welche diese Werke Goethes seitens der Fachgelehrten erfahren haben. Aber mit einem einfachen Nein ist es Goethe gegenüber nicht gethan. Wenn er sich in seiner Auffassung der Erscheinungswelt irrt und auf Wegen wandelt, auf denen ihm die Wissenschaft nicht immer folgen kann, so haben

[1]) Festrede zur Feier von Goethes 150. Geburtstag, gehalten am 26. August 1899 im Hörsaal des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M.

Alle Citate beziehen sich auf die neue Weimarer Ausgabe und zwar, wenn nichts weiter bemerkt ist, auf die Bände der zweiten, die naturwissenschaftlichen Schriften umfassenden Abteilung. Die grossen römischen Ziffern bedeuten die Bandzahlen, die arabischen oder kleineren römischen Ziffern die Seitenzahlen, die kleinen arabischen Ziffern die Zeilenzahlen. Um jedoch ein Nachschlagen der Citate auch in anderen Ausgaben zu ermöglichen, ist auch das Werk und der Abschnitt genannt worden, aus dem das Citat entlehnt ist. Dabei bedeuten, wenn nichts anderes bemerkt ist, §§ stets die Paragraphen des didaktischen Teiles der Farbenlehre.

Anmerkung der Herausgeber: Die Rede ist bereits als Broschüre vom Physikalischen Verein in Frankfurt a. M. veröffentlicht. Hervorgegangen aus einer liebevollen und eingehenden Vertiefung in Goethes Physik, bringt sie eine, die hergebrachten Vorurteile vielfach korrigierende fachmännische Würdigung derselben, gestützt durch die in den Anmerkungen gegebenen zahlreichen Citatenbelege aus Goethes Schriften. Wir haben darum von Herrn Prof. W. König die Erlaubnis erbeten und in dankenswerter Weise erhalten, die Rede hier noch einmal abzudrucken und einem weiteren wissenschaftlichen Kreise zugänglich zu machen.

[2]) Eckermann, Gespräche mit Goethe, 19. Februar 1829.

wir uns mit dieser Thatsache schlechterdings abzufinden. Es genügt nicht, sie mit einem Ausdruck des Bedauerns zu registrieren, wie es Lewes thut: und noch viel weniger können wir sie mit einer Blasphemie bei seite schieben, wie es du Bois-Reymond in seiner berüchtigten Rektoratsrede gethan hat. Die Farbenlehre ist so gut ein untrennbarer Teil des grossen geistigen Komplexes, der den Namen Goethe trägt, wie es Faust und Wilhelm Meister sind, und wir können ihrem Verfasser nur gerecht werden, wenn wir uns bemühen, sie als solch ein Stück des ganzen Goethe zu erkennen. Ich möchte mich daher nicht darauf beschränken, Ihnen auseinander zu setzen, was Goethe gelehrt hat; sondern ich möchte Ihnen gerne klar machen, warum er es, so vielen zum Trotz und zum Ärger, so und nicht anders gelehrt hat. Ich will daher in erster Linie versuchen, Ihnen zu schildern, wodurch Goethe auf seine optischen Studien geführt wurde und unter welchen Einflüssen sich seine Gedanken auf diesem Gebiete entwickelten, und wenn wir so die Farbenlehre haben entstehen sehen, wird es uns im zweiten Teile unseres Vortrages leichter fallen, die fertige Lehre, die Goethe in ihr vorträgt, zu verstehen. Was wir davon als richtig, was als falsch bezeichnen müssen, wird sich nebenher ergeben. Wir haben nicht nötig, dieser Frage auszuweichen. Aber, nach meiner Empfindung wenigstens, tritt das Interesse an dieser Beurteilung nach der Seite des Objektiv-Richtigen in den Hintergrund gegenüber dem Verständnis des Subjektiv-Wirklichen, des inneren Zusammenhanges, gegenüber dem Erfassen des Ganzen aus der ganzen Persönlichkeit. Und wenn wir diesen Weg einschlagen und unsere Schritte mit Vorsicht setzen, vielleicht, dass es uns dann auch gelingt, ihn, den Olympier selber, der bei unserm Beginnen die gewaltige Stirn in drohende Falten legen wird, wenigstens so weit zu besänftigen, dass er beim Abschiede nicht ein finsteres „Geht" spricht, sondern uns zum Pfande alter Freundschaft und Fachgenossenschaft die Rechte reicht.

Wollen wir Goethe in den Anfängen seiner optischen Studien aufsuchen, so müssen wir ihn in Gedanken auf seiner italienischen Reise begleiten. Hier ging ihm die Welt der Farbe auf. Hier empfing seine Seele ein lebhaftes, freudiges Bild der harmonisch farbigen Welt unter einem reinen glücklichen Himmel.[1]) Von zwei Seiten her drängten sich hier die Farben seinem alles mit aufmerksamem Blicke erfassenden Geiste entgegen, einerseits in der Farbenpracht der Natur, andererseits in der Farbenharmonie der Gemälde. Er ist in seiner Reisebeschreibung unerschöpflich in der Schilderung der wunderbaren Farbentöne der italienischen Landschaft, und er war in den Ateliers der befreundeten Künstler unermüdlich im Forschen und Fragen nach den Gesetzen des Kolorits. Aber er kam zu keiner befriedigenden Erkenntnis; er fand nur schwankende Überlieferungen, nur technische Kunstgriffe, aber keine Grundsätze.[1]) Doch schälte sich aus diesen Studien schliesslich wenigstens ein allgemeiner Erfahrungssatz heraus, das Gesetz von den warmen und kalten Farben, die Einteilung der Farben für ihre Verwendung in der Malerei in zwei Gruppen, von denen die eine die lichten warmen Farben, gelb und rot mit ihren Verwandten, die andere die dunklen kalten Farben, die Reihe der blauen und violetten Tinten, umfasst.[2]) Und eine analoge Wahrnehmung trug er heim aus seiner Betrachtung der Farben in der Natur. Er beobachtete die Wirkungen der Luftperspektive. Er sah, wie von den Schatten näherer Gegenstände an bis hinaus zu den dunkleren Schatten ferner Gebirge die Luft unter der Sonnenbeleuchtung einen mit der Entfernung sich steigernden blauen Ton annahm, und im Gegensatze dazu, wie sich im Farbenspiel der Sonnenuntergänge und Sonnenaufgänge die Lichtquelle selbst, durch dickere Luftschichten gesehen, in gelbe, rote und purpurne Tinten tauchte, und wieder trat ihm der Gegensatz von Rot und Blau und die Teilung des Farbenreiches in zwei Gruppen entgegen.[3]) Und eine dritte Wahrnehmung drängte sich ihm hier in erneutem und verstärktem Masse auf, die er schon „in der ersten Jugend bei frühem Studieren" gemacht hatte, die Wahrnehmung der Kontrastfarben in der Form der farbigen Schatten. „Beim Skirokkohimmel, bei den purpurnen Sonnenuntergängen waren die schönsten meergrünen Schatten zu sehen".[4]) Ich will Ihnen diese Erfahrung durch einen einfachen Versuch veranschaulichen. Mittels unserer elektrischen Lampe werfe ich den Schatten dieses Lineals auf den Projektionsschirm und lasse zugleich mit Hülfe einer spiegelnden Fläche einen zweiten Lichtschein aus seitlicher Richtung auf den Schirm fallen. Sind beide Lichter weiss, so erscheint der Schatten grau. Färben wir das erste rot durch ein vorgehaltenes Glas, so erscheint der Schatten grün; färben wir es grün, so erscheint er rot. Bei blauer Beleuchtung ist er gelb, bei gelber blau. In diesen Erfahrungen enthüllte sich Goethen zum dritten Male die Gesetzmässigkeit der Farbenwirkungen in der Gestalt eines Gegensatzes, einer Polarität, wie er es später genannt hat.

---

1) Beiträge zur Optik, 1. Stück, § 18; **V**, 12, 3—5.

1) „Konfession des Verfassers" am Schluss des historischen Teiles der Farbenlehre. **IV**, 289.

2) Konfession; **IV**, 289—290. Siehe auch Beiträge zur Optik, 1. Stück, § 20; **V**, 13—14.

3) Beiträge zur Optik, 1. Stück, § 4; **V**, 4—5.

4) Konfession; **IV**, 291, 13—15.

Mit solchen Erfahrungen kehrte er nach Weimar zurück, erfüllt von dem Wunsche, Ordnung in das vielgestaltige Durcheinander seiner Eindrücke zu bringen und Einsicht in den Zusammenhang dieser Erscheinungen zu gewinnen. Denn er war kein Mann, der unverarbeitetes Wissen in sich aufgestapelt hätte. Sein künstlerisches Empfinden drängte überall dahin, die Welt als eine gestaltete Welt zu schauen, die Fülle der Erscheinungen zu übersichtlich geordneten, einheitlich gegliederten Bildern zusammenzufassen. Sie wissen, wie ihn dieses Bestreben in seinen Studien auf den Gebieten der organischen Natur geleitet hat. Es spiegelt sich nicht minder deutlich in der Freude wieder, die er an den Arbeiten anderer hatte, wenn sie ihm ein schwieriges Gebiet in diesem Sinne erschlossen.[1]) Ich erinnere Sie nur an sein begeistertes Lob der Howardschen Wolkenterminologie. Sie gewährte ihm mit einem Schlage den Faden, den er bei früherer Betrachtung der Wolkengebilde in ihrer verwirrenden Vielgestaltigkeit stets vermisst hatte, und darum ergriff er sie mit unendlicher Genugthuung.[2]) Aber die Kompendien der Physik, die Goethe aufschlug, um sich genauer über die Farben zu unterrichten, gewährten ihm einen solchen Faden nicht.[3]) Sie behandelten, wie es auch noch die heutigen Lehrbücher der Physik thun, die Farben im Anschluss an die Brechung des Lichtes. Sie lehrten an der Hand der Newtonschen Versuche, dass es Licht von verschiedener Brechbarkeit gebe, und dass dieses physikalisch verschiedenartige Licht auch von unserem Auge als verschiedenartig wahrgenommen werde, indem es verschiedene Farbenempfindungen in unserem Auge auslöst. Daneben enthielten jene Kompendien ein Weniges über die Farben dünner Blättchen, über die Farben, die bei der Beugung des Lichtes auftreten, beides ohne anschaulichen Zusammenhang mit den anderen Farbenerscheinungen, endlich wohl auch ein Weniges über die farbigen Schatten oder ähnliche subjektive Farben, die man meistens nur als Gesichtstäuschungen oder gar als Folgen einer krankhaften Beschaffenheit des Auges ansah. Von dem Gegensatz aber, in dem sich die Farben bei diesen Erscheinungen manifestieren, oder von den Ursachen der Luftperspektive, oder gar vom Kolorit, von warmen und kalten Tinten stand in jenen Kompendien nichts. Dafür lenkten sie Goethes Aufmerksamkeit auf eine neue Gruppe von Farbenerscheinungen, auf die Farben des gebrochenen Lichtes, und bei dem Interesse, das er für den Gegenstand gefasst hatte, war er sofort entschlossen, die Newtonschen Versuche nachzumachen.[1]) Er lieh sich ein Prisma und blickte durch dasselbe nach einer weissen Fläche und abermals war er enttäuscht und erstaunt. Enttäuscht! Denn er sah nicht das, was er bei seiner noch unvollkommenen Kenntnis der Newtonschen Theorie erwartet hatte. Er glaubte ein breites Farbenband zu erhalten und er sah statt dessen eine weisse Fläche mit farbigen Rändern.[2]) Wir projizieren Ihnen hier das Bild einer weissen Fläche auf den Schirm; wir lenken es durch ein Prisma ab, und Sie sehen, wie es sich in eine weisse Fläche mit farbigen Rändern verwandelt. Aber er ist auch erstaunt und sicherlich angenehm überrascht gewesen. Was er sah, das schloss sich ihm ja ganz vorzüglich an das an, was er bisher von den Farben erfahren hatte. Denn zum vierten Male offenbarte sich ihm in diesen Versuchen die Entstehung der Farben in der Gestalt eines Gegensatzes. Wieder erscheinen ihm die gelben und roten Töne auf der einen, die blauen und violetten auf der anderen Seite des Bildes. Diese Farben aber treten nur an den Rändern auf, nur da, wo Hell an Dunkel, Weiss an Schwarz grenzt, und so glaubte er, hier wie bei den farbigen Schatten, wie bei der Luftperspektive und beim Kolorit, ein Zusammenwirken von Hell und Dunkel, Licht und Schatten in ihnen erblicken zu müssen.[3]) Er glaubte in diesen Versuchen etwas ganz Neues, etwas mit der Newtonschen Theorie nicht Verträgliches entdeckt zu haben. Er war nicht wenig stolz darauf, dass es ihm in seiner Weise auch auf diesem Gebiete, wie in der Pflanzenkunde und der Knochenlehre, geglückt war, etwas Neues, etwas Eigenes zu finden,[4]) und er war sehr unangenehm berührt, als ihm ein benachbarter Physiker, dem er die neuen Versuche zeigte, erwiderte, dass sie gar nicht neu wären, und dass sie mit der Newtonschen Theorie in schönster Übereinstimmung ständen.[5]) Davon wollte er sich nicht überzeugen lassen, sondern appellierte an die Öffentlichkeit.[6]) Er arbeitete seine Versuche auf das Sorgfältigste und Sauberste durch, er beschrieb sie mit jener wundervollen Klarheit und Anschaulichkeit, wie sie ihm, dem Dichter, gegeben war, und veröffentlichte sie mit einem vorsichtig ausgedrückten Zweifel an der Richtigkeit der Newtonschen Erklärung, unter dem Titel: Beiträge zur Optik, in zwei Stücken in den Jahren 1791 und 1792. Was ihm aber mit dem einen Physiker begegnet war, begegnete ihm mit allen. Die einen legten seine

1) Vgl. hierzu den Eingang seiner Besprechung von Ernst Stiedenroths Psychologie, **XI**, 73.
2) Vorwort zur Wolkengestalt nach Howard. **XII**, 6, 26–28.
3) Konfession; **IV**, 293, 1–5.

1) Konfession; **IV**, 293, 6–8.
2) „ **IV**, 295–296.
3) „ **IV**, 297, 14–26.
4) „ **IV**, 297, 11–13.
5) „ **IV**, 298.
6) „ **IV**, 303–304.

Schrift als etwas Überflüssiges bei Seite, andere nahmen sich die freundliche Mühe, die Goetheschen Versuche aus der Newtonschen Theorie heraus zu erklären, wie es Gren im VII. Bande seines Journals der Physik gethan hat.[1]) Wir aber stehen vor der verwunderten Frage, warum sich Goethe durch diesen allgemeinen Widerspruch nicht belehren liess, er, der auf Gebieten, die ihm fremd waren, so freudig Belehrung von anderen entgegen nahm. Ich hoffe, dass unsere bisherigen Betrachtungen Ihnen die Antwort auf diese Frage nahe legen werden. Er trat eben nicht mit unbefangenem Geiste an die Newtonsche Lehre heran. Er hatte schon jene Erfahrungen über die Farben gesammelt, die ich Ihnen skizziert habe, und sie hatten seine Gedanken bereits in eine ganz bestimmte Richtung gelenkt. Ihm hatten sich Farbenerscheinungen der verschiedensten Art dargeboten. Er suchte nach einem geistigen Band, nach einer leitenden Idee auf diesem Gebiete, wie sich ihm die Welt der Organismen durch die Idee der Entwicklung zu einem organischen Ganzen gruppiert hatte. Für diesen Zweck leistete ihm die Newtonsche Theorie absolut nichts. Sie erklärte eines jener Phänomene, sie behandelte eine Seite des Ganzen, die rein physikalische Seite, und sie liess sich auf die übrigen Seiten gar nicht anwenden. Ihm dagegen war die Gleichartigkeit aufgefallen, mit der sich die Farben unter den verschiedensten Verhältnissen in polaren Gegensätzen entwickelten, und sie spiegelte ihm die Ahnung einer grossen, das ganze Farbenreich umfassenden Gesetzmässigkeit vor die Seele. Können wir es ihm da verargen, dass er von diesem höheren Standpunkte aus die Newtonsche Lehre nicht bloss bei seite schob, sondern dass er sie schliesslich bekämpfte, weil sie ihm Verwirrung brachte, wo er auf seinem Wege schon die Klarheit hindurchschimmern fühlte?

So geht er auf diesem Wege weiter. Er studiert zunächst eingehend die Erscheinungen der farbigen Schatten und schreibt 1792 einen Aufsatz darüber, der als drittes Stück der Beiträge zur Optik gedacht war, aber damals nicht erschienen, sondern erst in jüngster Zeit aus dem Archiv an das Tageslicht gezogen worden ist.[2]) Er behandelt den Gegenstand sehr gründlich, nicht bloss experimentell, sondern auch historisch, und wie ihn die Versuchsergebnisse in seinen Anschauungen nur bestärken, so konstatiert er auch mit Genugthuung die Thatsache, wie sehr die würdigen älteren Beobachter sich der richtigen Erklärung dieser Phänomene, (nämlich der Auffassung der Farben als einer Mischung von Licht und Finsternis) genähert hätten.[1]) Je mehr sich in dieser Weise seine Ideen befestigen und je schwieriger die Verständigung mit anderen wird, um so lebhafter wird sein Interesse an diesem Gegenstande. Aus dem Interesse wird eine Leidenschaft. Seine Tagebücher, seine Briefe, eine ganze Reihe kleinerer Entwürfe, die man neuerdings im Archiv gefunden hat, legen Zeugnis davon ab, in welchem Masse ihn die optischen Studien beschäftigten. Mitten im Kriegsgetümmel der Jahre 1792 und 93 wandern seine Gedanken beständig um dieses Gebiet herum. Unter den Beschwernissen des Lagerlebens im französischen Feldzuge ruft er aus: „Glückselig der, dem eine höhere Leidenschaft den Busen füllt".[2]) Die Feldküche muss ihm weisse Teller liefern, damit er an einem Teich mit besonders klarem Wasser die Brechungserscheinungen studieren kann[3]), und unter der Kanonade von Mainz, im Lager von Marienborn entwickelt er in einem kleineren Aufsatze den Gedanken, dass sich alle an der Farbenlehre interessierten Faktoren, Maler und Kritiker, Chemiker und Physiker, Mathematiker und Mechaniker vereinigen sollten, um gemeinsam und in zweckmässiger Arbeitsteilung das ganze Gebiet der Farbenlehre zu bearbeiten.[4]) Sie sehen, hier schwebt ihm schon die grosse Idee eines Ganzen, einer umfassenden und erschöpfenden Behandlung des Gegenstandes vor.

Aber er erkannte bald, dass er in der Erfüllung dieses Wunsches auf sich selber angewiesen war. Der Mangel an Verständnis und Interesse, dem er mit seinen Bestrebungen begegnete, vermehrte nur seine Leidenschaft; der Widerspruch, den seine Auffassung bei den Fachgelehrten fand, steigerte die Leidenschaft bis zur Erbitterung. Er zog sich auf sich selbst zurück; er veröffentlichte nichts mehr von den kleinen Aufsätzen, in denen er gelegentlich die Resultate seiner Studien zusammenfasste und den Freunden mitteilte. Auch der Kreis dieser Freunde, die ihm Förderung und Ermutigung gewährten, ward immer kleiner; schliesslich waren Heinrich Meyer, der

---

1) Grens Arbeit erschien 1793 im **VII**. Bande des Journals der Physik, S. 3—21, unter dem Titel: „Einige Bemerkungen über des Herrn von Goethe Beiträge zur Optik". Auch in seinem „Grundriss der Naturgeschichte" (Halle 1797, S. 495—497) hat Gren die Goethischen Versuche durchaus respektvoll und anerkennend besprochen. Wie aber Goethe derartige Besprechungen, wenn sie auf dem Standpunkt der Newtonschen Theorie beharrten, aufnahm, ersieht man aus den Bemerkungen in seiner „Konfession" (**IV**, 304—306).

2) „Von den farbigen Schatten"; **V**, 99—125. Hinsichtlich der Entstehungszeit dieses Aufsatzes vgl. denselben Band, S. 450.

---

1) **V**, 120, 1—10.

2) Campagne in Frankreich, den 12. September. Weimarer Ausgabe, erste Abteilung, **XXXIII**, 50.

3) Goethe berichtet über diese Beobachtungen in der „Campagne in Frankreich" unterm 31. August. (1. Abteilung, **XXXIII**, 28—29.) Desgleichen in den „Nachträgen zur Farbenlehre", No. 11, unter dem Titel: „Im Wasser Flamme", **V**, 353, 3—18.

4) Der Aufsatz trägt den Titel: „Einige allgemeine chromatische Sätze" und ist abgedruckt in **V**, 81—92.

römische Freund, und Schiller die einzigen und letzten, die thätigen Antheil an dem Fortgange dieser Arbeiten nahmen.[1] Er aber blieb unermüdlich bei dieser Beschäftigung, die ihm zu einem Geschäft geworden war.[2] Vor allem lag ihm daran, das Hemmnis fortzuräumen, das in Gestalt der Newtonschen Lehre der Entwicklung seiner Ideen immer wieder entgegengehalten wurde. Er hat keine Mühe gescheut, die Newtonsche Optik zu studieren und seine Versuche zu wiederholen; aber er fand keine Möglichkeit, die Anschauungen Newtons mit den seinigen zu vereinen, und so blieb ihm nichts anderes übrig, als sie zu bekämpfen. Und das hat er gethan mit einer Leidenschaftlichkeit ohne gleichen, mit einer Erbitterung, die vor den unwürdigsten Verdächtigungen nicht zurückschreckte. Er erblickt schliesslich in der sorgfältigen Beschreibung, die Newton von seinen Experimenten giebt, nichts als eine beabsichtigte Täuschung und zerfetzt mit dialektischer Schärfe das ganze Werk des grossen Briten Zeile für Zeile und Wort für Wort. Das ist der Ton, den wir so ungern aus der Farbenlehre herausklingen hören. Was hatte ihm der Tote gethan, dass er seine Lehre nicht bloss verwarf — das können wir ja am Ende begreifen — sondern sie und ihren Urheber mit Spott und Hohn überschüttete und auf jede Weise verächtlich zu machen suchte? Wir wollen in dieser Beziehung gar nichts beschönigen. Goethe hat Newton das bitterste Unrecht angethan. Aber ich meine, dass wir Goethen Unrecht thun würden, wenn wir in seinem Verhalten gegen Newton nichts anderes als die durch den Widerspruch der Fachgelehrten verletzte Eitelkeit eines durch stete Bewunderung verwöhnten grossen Mannes erblicken wollten. Sie wird ja auch mitgespielt haben — gewiss! Aber die treibenden Motive lagen doch wohl tiefer. Er selbst entschuldigt seine Erbitterung mit dem Umstande, dass ihm der Kampf gegen die Newtonsche Lehre eine frohere und vorteilhaftere Benutzung mehrerer Jahre geraubt habe. „Man verzeihe mir daher", sagt er,[3] „wenn ich von ihr und ihrem Urheber alles mögliche Böse gesagt habe." Da fragt man sich natürlich, warum er sich denn darauf eingelassen, warum er denn nichts Besseres gethan hat. Aber eben hier liegt — ich möchte sagen — der tragische Konflikt. Er konnte nicht anders. Er handelte vollständig unter dem Zwange der Vorstellung, dass er auch auf diesem Gebiete eine Mission an die Menschheit zu erfüllen habe. Das individuelle Interesse, das ihn ursprünglich auf diesen Gegenstand geführt hatte, gestaltete sich schliesslich zu dem Gefühl einer Verpflichtung gegen die Allgemeinheit, der Verpflichtung, das, was sich ihm als grosse Wahrheiten, als dauernde Erkenntnisse in seinen Studien erschlossen hatte, der Welt in möglichst eindringlicher und überzeugender Form zu übermitteln. Wenn es sich nur um die Refraktionserscheinungen gehandelt hätte, wenn Goethe nichts anderes zu sagen gehabt hätte, als dass er von diesen eine andere Auffassung als Newton hätte, so wäre das alles wohl ungesagt geblieben. Für ihn handelte es sich um Grösseres, um die Erfassung der Gesamtheit der Farbenerscheinungen unter dem Gesichtspunkte eines organisch geordneten, von einfacher Gesetzmässigkeit beherrschten Ganzen. Die Brechungserscheinungen bildeten davon nur einen kleinen Teil, der sich aber in der Newtonschen Darstellung in dieses Goethesche Ganze in keiner Weise einordnen liess.

Wir ermessen die Grösse seiner Absichten, wenn wir uns den Umfang seiner Arbeiten vergegenwärtigen. Er geht mit der grössten Gründlichkeit zu Werke. Neben der mühseligen Durcharbeitung der Newtonschen Optik sucht er ein vollständiges Bild von der allmählichen Entwicklung der Vorstellungen und Kenntnisse von den Farben zu gewinnen und sammelt in Abschriften und Exzerpten ein staunenswertes Material zur Geschichte der Farbenlehre. Daneben aber geht als Drittes die Erforschung der Erscheinungen selbst. Er durchwandert mit Betrachtungen und Versuchen die ganze Welt der Farben, von den einfachsten Reizungen unseres Auges an bis zu den höchsten, sinnlichsittlichen Wirkungen der Farbe, von den einfachsten Wahrnehmungen bis zu den Gesetzen des Kolorits und den Prinzipien der Farbenzusammenstellungen in Uniformen und Livreen.[1]

In dieser Dreiteilung in einen didaktischen, einen polemischen, einen historischen Teil, gliedert sich ihm schliesslich nach jahrelanger Verarbeitung der ungeheuere Stoff, und mit einem Gefühl der Befreiung konnte er am 16. Mai 1810 den letzten Bogen auf die Druckerei schicken.[2] In zwei starken Bänden mit einem Hefte Tafeln dazu erschien die Farbenlehre, Goethes, dem Umfange nach, grösstes Werk. Aber so gross war das Ideal, das ihm bei dieser Arbeit vorschwebte, dass er von seiner eignen Leistung nur das Gefühl einer Vorarbeit hatte und sein Werk bescheiden nicht „Die Farbenlehre", sondern „Zur Farbenlehre" nannte.[3]

Wenn ich nun dazu übergehe, Ihnen an der

1) Über die Mitarbeit dieser Freunde siehe die Konfession gegen den Schluss; **IV**, 308—310.
2) Konfession; **IV**, 306, 27—28
3) Polemischer Teil, Abschluss; **II**, 298, 1—6.

1) § 847; **I**, 335.
2) Annalen, oder Tag- und Jahreshefte, 1810. Weimarer Ausgabe, erste Abteilung, **XXXVI**, 55, 8—10.
3) Nachträge zur Farbenlehre; ältere Einleitung. **V**, 325, 6—12.

Hand dieses Werkes das fertige System der Goethischen Lehre in Kürze zu skizzieren, so sehen wir ab von dem polemischen Teil, zu dem wir ja bereits Stellung genommen haben, und ebenso von dem historischen Teil, auf den einzugehen die Zeit fehlt, und beschränken uns auch bei dem didaktischen Teil auf die rein naturwissenschaftlichen Kapitel. Goethe teilt die Farben in drei Klassen: physiologische, physische und chemische Farben. Unter den physiologischen Farben versteht er subjektive Farbenerscheinungen, die farbigen Nachbilder und die Erscheinungen des Farbenkontrastes. Sie stellt er als das Fundament der ganzen Lehre, „als Anfang und Ende aller Farbenlehre", an den Beginn seiner Betrachtungen.[1]) Mit der ganzen Energie seiner Überzeugungen vertritt er den Standpunkt, dass diese Erscheinungen nicht etwas Zufälliges oder gar etwas Krankhaftes, sondern etwas durchaus Gesetzmässiges seien, und dass gerade in ihnen die Gesetzmässigkeiten unserer Farbenempfindungen ihren reinsten und vollkommensten Ausdruck fänden, so dass sie als Norm und Richtschnur alles übrigen Sichtbaren festgehalten werden müssen.[2]) Welches sind diese Gesetzmässigkeiten, wie sie Goethe entwickelt? Er geht von dem Gegensatze von Licht und Finsternis, von Hell und Dunkel aus und behandelt zunächst die eigentümlichen Formen, in denen das Auge auf diesen Gegensatz reagiert. Das sind:

1. Die Irradiationserscheinungen. Sie sehen hier eine weisse Scheibe auf schwarzem Grund und daneben eine schwarze Scheibe auf weissem Grund; beide sind gleich gross, aber die erstere erscheint grösser als die letztere.[3])

2. Die Nachbilder, die wir von hellen Objekten, z. B. dem hellen Fenster oder einer Lichtquelle, beim Schliessen der Augen oder bei schnellen Augenbewegungen wahrnehmen.[4])

3. Die Erscheinungen des Kontrastes. Sie haben hier einen Fall des simultanen Kontrastes: Eine graue Fläche auf schwarzem Grunde erscheint heller als eine gleich graue Fläche auf weissem Grunde.[5]) Und ich zeige Ihnen ferner einen Fall des successiven Kontrastes. Wir projizieren Ihnen hier eine helle Fläche auf die Wand und blenden die eine Hälfte durch einen dunklen Schirm ab; ziehen wir, nachdem Sie das Objekt eine Zeit lang fixiert haben, den Schirm plötzlich fort, so erscheint Ihnen der bisher verdunkelte Teil heller als der andere.[1]) Die Erklärung dieser Thatsache pflegte man in einer Art Ermüdung der Netzhaut zu erblicken. Goethe aber möchte den ganzen Komplex dieser Erscheinungen aus höheren Quellen ableiten.[2]) Er erblickt in ihnen die spezifische Lebensthätigkeit des Auges. Das Auge kann nicht in einem bestimmten, von dem Objekte ihm aufgedrungenen Zustande verharren; es opponiert dagegen; es strebt zum Ganzen, indem es einem Extrem das andere gegenüberstellt. Das Helle fordert das Dunkle und das Dunkle fordert das Helle.[3])

Den Übergang von diesen Erscheinungen des Schwarz-Weiss-Kontrastes zu den physiologischen Farben findet Goethe in dem farbigen Abklingen farbloser blendender Bilder. Wenn Sie in die Sonne oder eine intensive Lichtquelle blicken und dann das Auge schliessen oder ins Dunkle sehen, durchläuft das Nachbild im Auge eine bestimmte Farbenskala; es zeigt sich nach Goethe zuerst ein purpurner Rand, der allmählich das ganze Bild überzieht, dann wird das Bild, ebenfalls vom Rande her, allmählich blau, schliesslich farblos dunkel.[4]) Bemerken Sie wohl, wie Goethe, indem er diese Wahrnehmung als einfachste und unmittelbarste Erfahrung über die Entstehung der Farben voranstellt, von vornherein die Farben gewissermassen als Abschwächungen des Hellen einführt und zwar liegen die roten Töne auf der Seite des Hellen, die blauen auf der Seite des Dunklen. Das ist der Gedanke, der in passend veränderter Form immer wiederkehrt. Dieselben Nachbilder lassen uns zugleich auch das Gesetz des Kontrastes erkennen. Was uns im Dunkeln purpurn oder blau erscheint, das erscheint grün oder schmutzig gelb, wenn wir mit dem affizierten Auge nach einer hellen Fläche sehen.[5]) Ich zeige Ihnen eine andere Form dieses sogenannten successiven Farbenkontrastes. Wir projizieren hier ein gelbes Feld auf blauem Grunde. Ziehen wir die Farbenscheiben fort, so sehen Sie vorübergehend statt einer gleichmässig weissen Fläche eine blaue Fläche auf gelbem Grunde. Ebenso giebt eine grüne Fläche auf rotem Grunde als Nachbild eine rote Fläche auf grünem Grund.[6]) Und wieder steht neben dem successiven der simultane Kontrast und zeigt uns die gleichen Wechselbeziehungen der Farben. Wir haben ihn bereits an den farbigen Schatten kennen gelernt, und wir sehen ihn noch einmal an diesen Farbentafeln, deren kleine, in Wahrheit

1) § 1; I, 1, 6; desgleichen Nachträge zur Farbenlehre, physiologe Farben; V, 336, 6–7.
2) § 3; I, 2, 3–7 und Nachträge, V, 336, 19–11.
3) § 16 und 17; I, 6–7.
4) §§ 19–27; I, 8–10.
5) § 38; I, 15.

1) § 37; I, 15.
2) § 32; I, 13, 10–11.
3) § 33; I, 13. Vgl. auch die Bemerkungen in den „Nachträgen" unter „Physiologe Farben"; V, 337 und 339.
4) § 40; I, 16 und 17.
5) § 42; I, 18.
6) § 49; I, 21.

graue Mittelfelder in den Komplementärfarben des Grundes erscheinen, besonders deutlich, wenn ich einen halbdurchsichtigen Schleier über diese Tafeln breite.[1]) So fordern sich die Farben wechselseitig. Gelb fordert Violett, Blau fordert Orange, Rot fordert Grün.[2]) Diese Welt der subjektiven Farben wird beherrscht vom Prinzip des Gegensatzes oder, wie es die neuere Farbentheorie nennt, vom Prinzip des Antagonismus. Dieses Prinzip ist geradezu die Grundlage derjenigen Farbentheorie, die wir heute — wenigstens bei uns in Deutschland — als die herrschende bezeichnen können, der Heringschen Theorie. Die ältere, die Young-Helmholtzsche Farbentheorie nahm drei Grundempfindungen an, Rot, Grün und Violett und liess die Empfindung Weiss aus dem Zusammenwirken dieser drei Empfindungen entstehen. Sie ersehen daraus, dass sie mit der Goethischen Auffassung wenig Berührungspunkte hatte.[3]) Die Heringsche Theorie aber setzt vier Grundempfindungen voraus, die paarweise in antagonistischem Verhältnisse stehen, Rot und Grün, Gelb und Blau. Sie mischen sich nicht, wenn sie gleichzeitig erregt werden, sondern heben sich auf, zerstören sich, wie sie sich andrerseits im Kontraste gegenseitig fordern. Neben diesen Farbenempfindungen aber nimmt die Heringsche Theorie als dritte besondere Grundempfindung die Schwarz-Weiss-Empfindung an. Für diese Theorie ist Goethe mit seiner Darstellung der subjektiven Farben geradezu ein Vorläufer gewesen, und von dieser Seite wird ihm jetzt eine zwar späte, aber für uns am heutigen Tage um so willkommenere Anerkennung zu teil. Sie ist von fachmännischer Seite zum ersten male in dem Vortrage ausgesprochen worden, den Professor Stilling, der Strassburger Ophthalmologe, im vergangenen Winter anlässlich der Vorträge für das Goethedenkmal in Strassburg gehalten hat.[4])

Aber die Verwandtschaft zwischen der Goethischen und der heutigen Farbenlehre liegt ausschliesslich in diesem allgemeinen Prinzip. Goethe wollte ja mehr als eine bloss physiologische Farbenlehre geben, wie es die Heringsche ist, und indem er von den physiologischen zu den physischen Farben übergeht, gestaltet er die gewonnenen Prinzipien in einer ganz eigentümlichen Weise spezieller aus. Unter physischen Farben versteht er objektive Farbenerscheinungen, farbiges Licht, das durch physikalische Vorgänge aus weissem Licht erzeugt wird, wie die Farben des Himmels und der Abendröte, die Farben der Brechung und andere. Auch bei diesen Erscheinungen waren ihm die Farben in der Gestalt eines Gegensatzes entgegengetreten, aber dieser Gegensatz ist hier nur noch ein einfacher. Die Farben sondern sich in die gelbe und die blaue Seite, und so kommt er dazu, Gelb und Blau als die eigentlichen Grundfarben anzusehen. Von den hierhergehörigen Erscheinungen stellt er allen voran die Farben trüber Medien, denjenigen Vorgang, den wir heute als Diffusion des Lichtes bezeichnen.[1]) Ich lasse hier das Strahlenbündel einer elektrischen Lampe auf einen Glastrog mit Wasser fallen, ich setze einige Tropfen einer sehr verdünnten, alkoholischen Mastixlösung hinzu, und sofort sehen Sie auf dem dunklen Hintergrunde das Strahlenbündel in mattblauer Farbe aufleuchten. Wir sagen heute, dass das ein-

---

1) Auf die zahlreichen Versuche und interessanten Beobachtungen Goethes über den simultanen Kontrast sei besonders hingewiesen. Sie sind in den §§ 56—61 enthalten (**I**, 26—29). Den farbigen Schatten wird ein besonderes Kapitel gewidmet, dass die §§ 62—80 umfasst (**I**, 29—38).

2) § 60; **I**, 28. Desgleichen „Nachträge"; **V**, 339.

3) Es ist wohl in diesem Verhältnis begründet, dass Helmholtz weder in seiner physiologischen Optik, noch in seinen beiden Vorträgen über Goethes naturforscherische Thätigkeit (der eine 1853 in Königsberg, der andere 1892 in Weimar gehalten) dem physiologischen Teile von Goethes Farbenlehre eine grössere Beachtung geschenkt hat. Er hat — meiner Ansicht nach mit Unrecht — den Schwerpunkt der Goethischen Farbenlehre immer in ihrem physikalischen Teile und in der Bekämpfung der Newtonschen Lehre gesucht. Doch wird das vielleicht verständlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass die Youngsche Theorie, die Helmholtz wieder aufgenommen hat, selber viel mehr an die physikalischen Thatsachen, als an die physiologischen anknüpft, während die neuere Heringsche Theorie ausschliesslich von den letzteren ausgeht.

4) Der sachlichen Vollständigkeit halber möge an dieser Stelle noch darauf hingewiesen werden, dass Goethe auch die sogenannte Farbenblindheit als eine Anomalie des gewöhnlichen Farbensehens richtig erkannt und in zwei Fällen genau untersucht und beschrieben hat. Er hat zuerst den Versuch gemacht, die bei den Farbenblinden vorliegende Art des Farbensehens zu erklären. Er hat ferner eine Reihe von Beobachtungen über das Farbensehen bei pathologischen Zuständen des Auges gemacht. Das alles findet sich unter dem Titel: „Pathologische Farben" in den §§ 101—135 (**I**, 46—56). Wegen der spezielleren Würdigung seiner Leistungen auf diesem Gebiete muss auf den im Text genannten Stillingschen Vortrag verwiesen werden, der sich abgedruckt vorfindet in den „Strassburger Goethe-Vorträgen", Strassburg, Karl J. Trübner, 1899. Ausserdem möchte ich an dieser Stelle auf die vortreffliche, eingehende Besprechung und Würdigung der ganzen Farbenlehre, ihrer Entstehung und ihrem Inhalte nach, hinweisen, welche Dr. S. Kalischer in Berlin in der Hempelschen Ausgabe von Goethes Werken gegeben hat. Man findet in ihr in breiterer Ausführung vieles von dem, was in dem obigen Vortrage nur in kurzen Strichen angedeutet werden konnte.

1) Goethe beschreibt sie als „Dioptrische Farben der ersten Klasse" in den §§ 145—177; **I**, 61—74. Dass Goethe unter den Flüssigkeiten, die die Erscheinung der Diffusion des Lichtes zeigen, auch die blau fluoreszierende „Infusion des nephritischen Holzes" aufführt (§ 162; **I**, 66), dürfen wir ihm nicht besonders zur Last legen. Eine genauere Erkenntnis des ganz verschiedenen Charakters der beiden Erscheinungen, der Diffusion des Lichtes und der Fluoreszenz, ist erst gegen die Mitte dieses Jahrhunderts durch die Arbeiten von Brewster, J. Herschel und Stokes eröffnet worden. Dafür verdanken wir Goethes experimentellen Bemühungen auf diesem Gebiete die Kenntnis der stark fluoreszierenden Eigenschaft, die ein Aufguss von Rosskastanienrinde besitzt, siehe „Nachträge", 10, Trübe Infusion, **V**, 350—351.

fallende Licht von den das Wasser trübenden kleinen Teilchen nach allen Seiten zerstreut wird, und zwar vornehmlich die blauen Strahlen des einfallenden Lichtes, und diese um so mehr, je kleiner die Teilchen sind. Fangen wir das hindurchgehende Licht auf, so erscheint es infolge des durch die Zerstreuung bewirkten Verlustes an blauen Strahlen gelb, und spielt bei stärkerer Trübung ins Rote. Hier haben wir, sagt Goethe, unsern polaren Gegensatz, die gelbe und die blaue Seite, die Abendröte und die blaue Farbe des Himmels. Es gehört zu Goethes entschiedensten Verdiensten in der Optik, dass er durch die Vergleichung dieser Versuche mit den atmosphärischen Erscheinungen die richtige Erklärung der blauen Farbe des Himmels gegeben und mit grosser Entschiedenheit gegen die damals herrschenden anderen Ansichten der Physiker vertreten hat.[1]) Hier aber haben wir vor allem, sagt Goethe weiter, die Entstehung der Farben aus dem Zusammenwirken des Hellen und des Dunklen unmittelbar vor uns. Die Abschwächung des Hellen durch das Trübe giebt Gelb, die Aufhellung des Dunklen giebt Blau. Dieser Vorgang erscheint ihm als ein so einfacher, typischer, dass er in ihm das Urphänomen aller Farbenentstehung erblickt.[2])

1) Vgl. hierzu noch besonders die Bemerkungen in den „Nachträgen" 8, Falsche Ableitung des Himmelblauen; **V**, 342—346.

2) Was Goethe unter der Bezeichnung „Urphänomen" versteht, hat er in § 175 (**I**, 72) genau auseinandergesetzt. Daran schliessen sich in §§ 176 und 177 (**I**, 73—74) Bemerkungen über die Stellung der Urphänomene in der Naturforschung an. Weitere Bemerkungen über die Bedeutung und die Wichtigkeit, die er diesem Begriffe beilegte, finden sich an vielen Stellen seiner Werke. Ich kann mich begnügen, auf das dem XII. Bande der Weimarer Ausgabe beigegebene Register zu Band VI—XII zu verweisen, desgleichen auf das Register zu Eckermanns Gesprächen mit Goethe. Daneben aber möchte ich nicht unterlassen, auf die interessanten Ausführungen aufmerksam zu machen, die Helmholtz in seiner Weimarer Rede über „Goethes Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen" (Berlin, Paetel 1892) über das Verhältnis des Goethischen Begriffs des Urphänomens zu der Begriffsbildung der modernen theoretischen Physik gemacht hat. Nur in einem Punkte kann ich nicht umhin, eine von der Helmholtzschen abweichende Anschauung geltend zu machen. Helmholtz bedauert (S. 33), dass Goethe nicht die Undulationstheorie des Lichtes gekannt habe; er meint, diese würde ihm ein viel richtigeres und anschaulicheres „Urphänomen" an die Hand gegeben haben. Dagegen ist zweierlei zu erwidern. Erstens war Goethen die Undulationstheorie des Lichtes keineswegs unbekannt, wie einige Stellen in den Nachträgen zur Farbenlehre erkennen lassen (siehe unter „Wartesteine" die Bemerkungen über Biot, **V**, 410—415, und die Bemerkungen über die physikalische Preisaufgabe der Petersburger Akademie der Wissenschaften, **V**, 421—436), und er hat, wie uns besonders die Stelle **V**, 433, 10—17 zeigt, von ihr keine bessere Meinung, als von der atomistischen Theorie gehabt. Zweitens aber richtete sich sein Widerspruch zunächst und der Hauptsache nach gar nicht gegen die Korpuskulartheorie Newtons, sondern gegen die Behauptung der Zerlegbarkeit des weissen Lichtes durch die verschiedene Brechbarkeit des verschiedenfarbigen Lichtes. Darüber aber hätte ihm die Undulationstheorie auch nicht hinweggeholfen.

Die Newtonschen Refraktionsversuche sind ihm dagegen ein ganz komplizierter Vorgang, der erst der Zurückführung auf dieses Urphänomen bedarf. Lassen Sie uns sehen, wie er es anstellt, auch diesen Schritt in seiner Weise durchzuführen.[1]) Wir betrachten noch einmal das durch ein Prisma verschobene Bild einer weissen Fläche. Es erscheint nicht mehr scharf, sondern hat verwaschene farbige Ränder. Goethe meint, es entständen durch die Brechung nicht ein, sondern zwei Bilder, ein Haupt- und ein Nebenbild, von denen das Hauptbild weniger, das Nebenbild stärker verschoben sein soll. Er erinnert zur Begründung an die Doppelbilder des Kalkspaths und des Quarzes und an die verwaschenen übergreifenden Ränder bei den subjektiven Erscheinungen der Irradiation.[2]) Unwillkürlich werden Sie dabei an die Newtonsche Theorie denken. Auch sie nimmt ja, sozusagen, Nebenbilder an; sie setzt die ganze Erscheinung aus der Übereinanderlagerung unendlich vieler Nebenbilder von stetig veränderlicher Farbe und Brechbarkeit zusammen. So meint es Goethe natürlich nicht. Ihm lösen sich die Erscheinungen nicht in eine unendliche Vielheit, sondern in einen einfachen Gegensatz auf. Er denkt an zwei farblose Bilder; über das Hauptbild lagert sich ein Nebenbild, das als ein abgeleitetes Bild gegen das ursprüngliche abgeschwächt, gewissermassen getrübt erscheinen soll. Wo nun dieses trübe Nebenbild über die dunkle Umgebung des Hauptbildes hinaustritt, erscheint der blaue Rand, wie das trübe Mittel blau erscheint vor dunklem Grunde. Umgekehrt soll sich an der andern Seite das trübe Nebenbild vor das helle Hauptbild lagern; das helle Bild erscheint dadurch geschwächt, und es entsteht der gelbe Rand.[3]) Durch diese merkwürdige, einer strengen Fassung überhaupt nicht zugängliche Deduktion leitet Goethe die Brechungsfarben aus seinem Urphänomen ab. Aber jetzt haben wir nur zwei Farben, Gelb und Blau. Wie entstehen die übrigen? Hier nimmt Goethe zunächst ein weiteres Prinzip zu Hilfe, das sich als ein ganz allgemeiner Gedanke durch alle seine naturwissenschaftlichen Schriften hindurchzieht; er nennt es das Prinzip der Steigerung. Wo das Helle stärker abgeschwächt wird, geht das Gelb in Gelbrot über, worunter Goethe in der höchsten Steigerung das spektrale Rot versteht; wo die Aufhellung des Dunklen gering ist, entsteht Violett oder Blaurot, statt Blau. Rot und Violett sind die

1) Die Refraktionserscheinungen werden unter dem Titel: „Dioptrische Farben der zweiten Klasse" sehr ausführlich in den §§ 178—356 (**I**, 74—149) abgehandelt.

2) Diese eigentümliche Vorstellung findet sich in den §§ 226—232 (**I**, 93—96) entwickelt.

3) §§ 238 und 239; **I**, 98.

Steigerungen von Gelb und Blau nach dem Dunklen hin.[1]) Dazwischen endlich liegen zwei Mischfarben. Wir lassen die weisse Fläche, die wir durch das Prisma abgelenkt haben, immer schmaler werden; die farbigen Ränder rücken zusammen; schliesslich entsteht in der Mitte Grün.[2]) Wir haben jetzt das, was wir das normale Spektrum nennen, und wir betrachten von unserem heutigen Standpunkt aus dieses Grün als hervorgebracht durch einfache Ätherschwingungen von bestimmter Wellenlänge. Nach Goethe entsteht das Grün als Mischfarbe durch Übereinanderlagerung des blauen und gelben Randes. Diese Anschauung ist ihm von den Malerfarben her geläufig; denn ein blaues und ein gelbes Pigment gemischt geben in der That Grün.[3]) Aber er stützt seine Anschauung auch durch ein zweites Experiment, das er in wirklich geistreicher Anwendung seines Gegensatzprinzipes dem Newtonschen Spektralversuche gegenüberstellt. Er sagt, so gut wie man eine weisse Fläche auf dunklem Grunde durch ein Prisma verschieben kann, kann man auch eine dunkle Fläche auf weissem Grunde verschieben. Die Farbenränder liegen dann umgekehrt, und indem man die schwarze Fläche schmaler und schmaler werden lässt, lagern sich die gesteigerten Farben Rot und Violett übereinander und geben Pfirsichblüt oder, wie er es später genannt hat, Purpur.[4]) Damit haben wir die Goethische Lehre in ihrer vollständigen Entwickelung. Gelb und Blau sind die einfachen Grundfarben, Rot und Violett die gesteigerten Grundfarben; Gelb und Blau geben gemischt Grün, Rot und Violett geben gemischt Purpur.

	Purpur.	
Rot.		Violett.
Gelb.		Blau.
	Grün.	

Das ist der vollständige, in sich geschlossene Farbenkreis, auf dem man von Farbe zu Farbe in stetigen Übergängen wandern kann, und dessen gegenüberstehende Farben einander zugleich antagonistisch oder komplementär zugeordnet sind.[1]) Dieses Farbenschema, das die stetige Folge unserer Farbenempfindungen darstellt, hat sich Goethe in der beschriebenen Weise physikalisch abgeleitet, und er macht der Newtonschen Optik zum Vorwurf, dass sie keine physikalische Begründung dieses vollständigen Farbenkreises gebe. In der That, unsere physikalische Farbenskala, das gewöhnliche Spektrum, das alle für uns sichtbaren Ätherschwingungen in stetiger Folge von den langsameren zu den schnelleren aufsteigend, umfasst, diese Skala enthält nur die Farben vom Rot bis zum Violett, aber nicht den Purpur. Der Regenbogen umfasst nicht die Totalität unserer Farbenempfindungen.[2]) Dieser Einwand Goethes ist vollkommen richtig. Aber der Vorwurf, den er daraus herleitet, trifft nicht die Newtonsche Optik, sondern die Natur selber. Und damit kommen wir noch einmal auf das Verhältnis von Goethe und Newton und können tiefer hineinleuchten in den letzten Grund des grossen Missverständnisses, das sich durch diesen Teil der Farbenlehre hindurchzieht.

Für Goethe ist die Farbe zunächst Empfindung. Die verschiedenen Farbenempfindungen stehen zu einander in jenen gesetzmässigen Beziehungen der Polarität, des Antagonismus, wie Goethe sie in dem Kapitel von den physiologischen Farben ganz richtig entwickelt hat. Diese Empfindungen können durch äussere Reize im Auge hervorgerufen werden. Die äusseren Reize, das sind die physischen Farben. Indem Goethe von den physiologischen auf die physischen Farben übergeht, ist es ihm eine ganz selbstverständliche Voraussetzung, dass zwischen diesen äusseren Ursachen ganz die gleichen gesetzmässigen Beziehungen bestehen müssen, wie zwischen den Empfindungen. Nicht als ob er Reiz und Empfindung mit einander verwechselte; er trennt sie ganz klar, wenn er sagt, dass die einzelnen Farbeneindrücke in dem lebendigen Organe entschieden spezifische Zustände hervorbringen.[3]) Aber beide, diese inneren Zustände und die äusseren Reize, die sie hervorrufen, sind für Goethe in solcher Weise einander zugeordnet, dass sie zwei vollkommen parallele, von der gleichen inneren Gesetzmässigkeit beherrschte Reihen bilden. Dieser Gedanke ist bei Goethe nicht direkt ausgesprochen. Dagegen hat ihn Schopenhauer in seiner der Goethischen nachgebildeten Farbenlehre mit voller Deutlichkeit

1) Für die Farben trüber Medien findet sich die Anwendung dieses Prinzips in den §§ 150 und 151 (**I**, 62—63), für die Refraktionsfarben in den §§ 240 und 241 (**I**, 98—99) ausgesprochen.

2) Beiträge zur Optik, 1. Stück, §§ 58 und 59; **V**, 29—30. Desgleichen Farbenlehre, didaktischer Teil, § 214; **I**, 88.

3) In der dritten Abteilung des didaktischen Teiles, unter „Chemische Farben", behandelt Goethe die Farbenmischung ausführlicher. Er unterscheidet wirkliche und scheinbare Mischung; die erstere ist die Mischung von Pigmenten (§§ 551—559; **I**, 223—225), deren Resultat man heute als Differenz- oder Subtraktionsfarben bezeichnet, die letztere umfasst diejenigen Arten von Farbenmischung, die wir jetzt als Additionsfarben bezeichnen (§§ 560—571; **I**, 225—229.

4) § 215; **I**, 89. Siehe auch Beiträge zur Optik, 1. Stück, §§ 58 und 59; **V**, 29—30.

1) Vgl. hierzu besonders die Darstellung in der Einleitung des didaktischen Teiles (**I**, XXXIV—XXXV) ferner § 707 (**I**, 281) und das Kapitel über Totalität und Harmonie, §§ 803—815 (**I**, 321—325).

2) § 814; **I**, 324.

3) § 761; **I**, 308.

ausgedrückt, wenn er sagt:[1]) „es war vorauszusehen, dass das Verhältnis, welches zwischen den Farben im eigentlichen Sinne (d. h. den subjektiven) besteht, auch zwischen ihrer ausser dem Auge liegenden Ursache sich wieder finden musste". Aber eben diese Voraussetzung ist falsch. Die äusseren Reize und die inneren Empfindungen sind für das Auge nicht in dieser einfachen und eindeutigen Weise einander zugeordnet. Sie werden das am besten einsehen, wenn wir in Kürze den Vergleich mit den Gehörsempfindungen heranziehen.

(Schluss folgt.)

1) Arthur Schopenhauer, „Über das Sehen und die Farben", Leipzig 1816, S. 81, unten.

BESPRECHUNGEN.

A. V. Bäcklund, Elektrodynamik. Efter författarens universitetsföreläsningar tre månader af år 1898. VIII u. 198 S. gr. 8. Lund, Gleerupska Universitetsbokhandeln (Hjalmar Möller). 1899.

Das Buch ist aus Vorlesungen des Verfassers während dreier Monate des Jahres 1898 hervorgegangen. Bei der Veröffentlichung hat er ausserdem zu zeigen versucht, wie jene Auffassung von dem Wesen der Elektrizität, welche er in der ersten Note seiner „Jnledning till theorien för de elektriska strömmarna" S. 102—109 skizziert hat, zu einer neuen Darstellung der wichtigen und von der Erfahrung wohl bestätigten Sätze über gegenseitige Wirkungen geschlossener Ströme leitet, welche durch die Ampereschen Gleichungen (10) S. 9 und die Gleichungen für induzierte Ströme

$$i' = \frac{8\lambda^2}{w'} \frac{d}{dt}(i\,W)$$

S. 58 ausgedrückt sind.

Es ist die Ansicht des Verfassers, dass eine vollkommen zusammenhängende Theorie der Elektrodynamik, schwerlich einen anderen Ausgangspunkt haben kann, als diesen Satz, welcher so eng mit dem Gesetze der Fortpflanzung der Kraft des elektrischen Stromes verbunden ist, dass er mit diesem Gesetze unerschütterlich bestehen bleibt. In der eben genannten Note seiner „Inledning" hat er in möglichster Kürze erwähnt, wie eine, von jenem Standpunkte aus betrachtet, bessere Begründung sowohl der Elektrostatik als der Elektrodynamik, als die bisher angenommene, gewonnen werden kann. Die materiellen Teilchen befinden sich danach in einem Äther, welcher am nächsten mit einem dünnen, gewichtslosen Gase von unveränderlicher Temperatur vergleichbar wäre, und sämtliche Kräfte treten nur wie Druckkräfte zwischen diesem Äther und den materiellen Teilchen auf. Mit den Wellen, welche diese in jenem hervorrufen, pflanzen sich die Kräfte von der Materie aus fort. Die Elektrizität ist nichts als eine Art explosionsartiger, periodisch wiederkehrender Volumveränderung derjenigen materiellen Punkte, welche elektrisch erscheinen, und welche samt allen anderen Körper sich in jenem unendlichen Äthermeere befinden. Da diese elektrische Bewegung des Teilchens (welche andererseits durch elektrische Wellen hervorgerufen werden kann), einen explosionsartigen Charakter hat, obgleich sie periodisch ist, so erhalten die hervorgebrachten Effekte dieselbe explosive Beschaffenheit. Aber wir rechnen beständig mit sehr gleichmässig fortlaufenden Funktionen und daher nur mit den Mittelwerten der fraglichen Effekte.

Nachdem Verfasser in der Einleitung, neben der Weberschen, eine von diesem Gesichtspunkte aus gewonnene Ableitung der Gesetze für einen induzierten elektrischen Strom auseinandergesetzt hat, geht er zu seinem eigentlichen Thema über. Im ersten Kapitel behandelt er zuerst die Anwendung einer Formel von Stokes auf die Ampereschen Gleichungen, vergleicht sodann elektrische Ströme und magnetische Scheiben und weist nach, wie ein Magnet mit einem Solenoid oder genauer einer Sammlung infinitesimaler Ströme vergleichbar ist. Kap. II behandelt die Theorie der elektromagnetischen Messinstrumente, u. a. des von Granqvist 1892 konstruierten Galvanometers, in Zusammenhang mit der Rotation von Strömen unter dem Einflusse von Magnetpolen und umgekehrt. Weiter bespricht er hier die Verhältnisse zwischen den elektrostatischen, elektrodynamischen und elektromagnetischen Einheiten der Stromstärke.

Im nächsten Kapitel wird zuerst die elektrostatische und die elektromagnetische Induktion behandelt. Sodann wird der induzierte Magnetismus auseinandergesetzt. Die Moleküle eines paramagnetischen Körpers sind von molekularen elektrischen Strömen umkreist, während solche beim diamagnetischen fehlen. Die Ströme des letzteren entstehen mit der Annäherung und verschwinden erst mit der Entfernung des Magneten, und zwar, weil die hierbei induzierten Ströme den beim Annähern entstandenen entgegengesetzt sind, und diese zerstören. Somit muss das diamagnetische Molekul in allen Richtungen leicht beweglich, folglich

sphärisch sein. Auch beim paramagnetischen Körper kann man statt ursprünglicher Molekularströme induzierte annehmen, welche sodann ihre Richtung wechseln. Aber dann müssen die Moleküle cylindrisch sein. Nachstehende Figur veranschaulicht den Durchschnitt zweier Moleküle samt deren „atmosphärischer Hülle“, in welcher die Ströme verlaufen. Beim

Annähern zweier Partikel werden die Ströme von der in der Figur bezeichneten Richtung zur anderen umgeworfen, und eine solche Umkehrung kann nur geschehen, wenn sich die Partikel längs eines Streifens berühren; also cylindrisch (prismatisch) sind und nicht sphärisch. — So ergiebt sich der Joulesche Satz über die beim Magnetisieren auftretende Wärmeentwickelung. — Weiter bespricht der Verfasser nebst einem Experimente von Edlund die Foucaultschen Ströme und beendet das Kapitel mit einer Beschreibung des Ruhmkorffschen Induktoriums und des Transformators von Faraday.

Ein besonderes Kapitel ist der Theorie von den praktischen Anwendungen der Induktionselektrizität gewidmet. Hier wird zuerst die Wechselstrommaschine und dann der Paccinotti-Grammesche Ring schematisch beschrieben und deren Theorie behandelt; darauf folgt eine Darstellung der Theorie der Alternatoren für Kraftübertragung. In diesem Abschnitte findet sich auch eine Beschreibung der Kraftübertragung im Bellschen Telephon. Das Kapitel schliesst mit Erwähnung einer von Faraday herrührenden Ausdrucksweise.

Das fünfte Kapitel behandelt die Entladungsströme. Nachdem Lord Kelvin 1855 gezeigt hatte, dass eine Entladung zwischen zwei geladenen Körpern A und B kontinuierlich oder oscillatorisch ist, je nachdem $w \geq 2\sqrt{\frac{L}{K}}$ oder $< 2\sqrt{\frac{L}{K}}$ ist, (wo L der Selbstinduktionskoeffizient des Verbindungsdrahtes, K die Kapazität für A und B, deren Ausdruck gegeben wird, bezeichnet), wurde 1857 die Giltigkeit der Theorie von Feddersen experimentell nachgewiesen. Die Kapazität einer sphärischen Leydener Flasche hängt, wenn man mit Q' als strömender Elektrizität rechnet, nur von ihren Dimensionen und nicht von der Dielektrizitätskonstante des isolierenden Stoffes ab. — Sodann wird das Problem von dem Verschwinden des Stromes in den Elektroden einer Säule behandelt, für den Fall, dass die Enden des Drahtes, gleichzeitig wenn sie von der Säule getrennt werden, mit den Belegungen einer Leydener Flasche verbunden werden, und diese Betrachtungen werden für den Öffnungsstrom in dem sekundären Drahte des Induktoriums angewandt. Die elektrischen Ströme im primären und im sekundären Drahte sind jeder aus mindestens zwei Strömen zusammengesetzt, von denen der eine kontinuierlich, der andere oscillatorisch, aber mit abnehmender Amplitude, ist.

Am Schlusse dieses Kapitels werden die Versuche von Hertz besprochen, welche für die Identität von Licht und Elektrizität sprechen. Während die Leitung der Elektrizität mit jener der Wärme vergleichbar ist, kann die strahlende Elektrizität, die Hertzschen Wellen, einen metallischen Leiter nicht durchdringen. Der mathematische Beweis hierfür wird im letzten Kapitel über Maxwells Theorie geliefert. Die Ströme, mit denen Hertz arbeitete, mussten, schon nachdem sie $^1/_{20}$ mm in einen Kupferdraht eingedrungen waren, bis auf $^7/_{1000}$ ihres ursprünglichen Betrages gesunken sein. — Die Maxwellsche Betrachtungsweise nebst Formelsystem, im Wesentlichen nach Maxwell selbst dargestellt, macht den grössten Teil dieses letzten Kapitels aus.

Das Buch ist ausschliesslich vom theoretischen und mathematischen Gesichtspunkte aus geschrieben; die praktischen Anwendungen der Elektrodynamik sind schematisch und als Grundlage der theoretischen Betrachtung bebehandelt.

Hugo Witt, Stockholm.

Personalien.

An der technischen Hochschule zu Berlin ist vom 1. Oktober ab der Mathematiker Professor Dr. Dziobek auf seinen Antrag von der Abhaltung seiner Vortragskollegien entbunden worden. An seine Stelle tritt Privatdozent Oberlehrer Dr. Häntzsche, der damit Dozent der Hochschule wird. Der ihm übertragene Unterricht umfasst die Elemente der Differential- und Integralrechnung und der analytischen Geometrie, sowie der Elemente der Mechanik für Chemiker und Hüttenleute.

An der naturwissenschaftlich-mathematischen Fakultät der Universität Heidelberg hat sich Dr. Karl Boehm mit einer Probevorlesung über „die Mathematik der Natur“ habilitiert.

Der Privatdozent für Physik und physikalische Chemie an der Universität in Leipzig Dr. phil. Oskar Knoblauch wurde zum ausserordentlichen Professor in der philosophischen Fakultät derselben Universität ernannt.

Der Privatdozent der Physik an der Universität Greifswald K. Schreber, erhielt vom Minister einen einjährigen Urlaub zum Studium der angewandten Physik an einer Technischen Hochschule.

Der Privatdozent der physiologischen Chemie an der Universität in Jena F. Schulz wurde zum ausserordentlichen Professor ernannt.

Dr. P. Rabe habilitierte sich für Chemie an der Universität zu Jena.

Der Hilfslehrer für Elektrotechnik an der Technischen Hochschule zu Stuttgart, Professor H. Rupp, hat zum 1. September seine Entlassung genommen.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Frankfurt a. M. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.